

镀锌涂层的金相制备

应用说明

采用各种工艺在钢或铁表面涂敷一层锌的过程被称为“镀锌”。锌用于铸铁、低碳钢和低合金钢的防腐处理。锌或锌合金对钢表面具有阴极保护作用。零件若暴露于空气和水中，其锌涂层中的锌可形成碳酸锌，增强锌涂层的防腐作用。镀锌产品主要用于各种外露的汽车零件、家居用品、电气设备及建筑业等。锌涂层外涂敷金箔涂料或油漆等有机涂层还可增强镀锌钢板的防腐性或装饰性。尽管镀锌钢板生产的一般控制以在线方式完成，并与各种物理测试同时进行，金相结构分析仍然



是一种重要的工具，可获得各种其它分析方法无法获得的信息。只有金相显微结构分析能够提供产品成型、焊接和修整等过程所需要的信息，以及产品研发和失效分析时必需的数据。

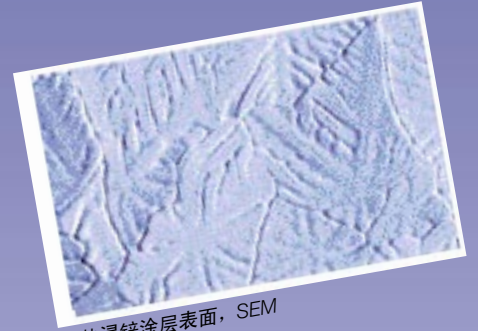


图1: 镀锌钢, 用1%奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液蚀刻处理, 500x



图2: 用镀锌钢板制成的建筑物彩色立面

实例: 如果锌涂层太厚会给后续的焊接带来困难; 如果锌涂层在成型过程中被擦破, 将直接影响后续的涂漆工序, 从而降低防腐性能。因此, 金相结构分析在提高产品质量和改进涂层技术方面发挥着相当作用。



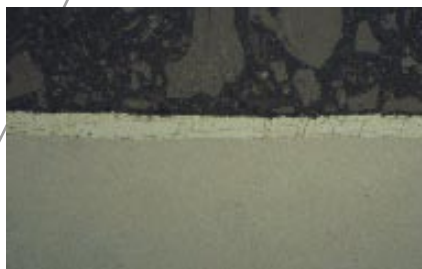
热浸锌涂层表面, SEM

镀锌产品的金相结构分析包括涂层厚度测量、涂层和基体金属的显微结构分析、粘结力测定和失效分析。镀锌方法不同, 锌涂层的硬度、厚度也不同, 因此不同试样在金相制备过程中的表现也各不相同。此外, 一些锌涂层会与水反应, 使金相制备特别困难。

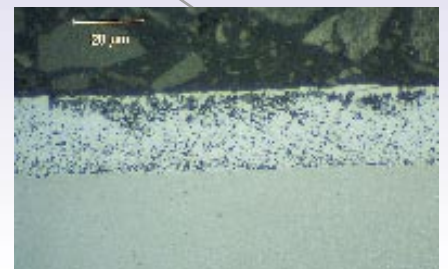
金相制备过程中面临的难题



镶样: 试样与树脂材料间的收缩间隙导致水渍和酒精渍的残留、圆边及研磨残渣堆积等缺陷。200x



涂层的柔软性: 研磨和抛光过程中留下的划痕。500x

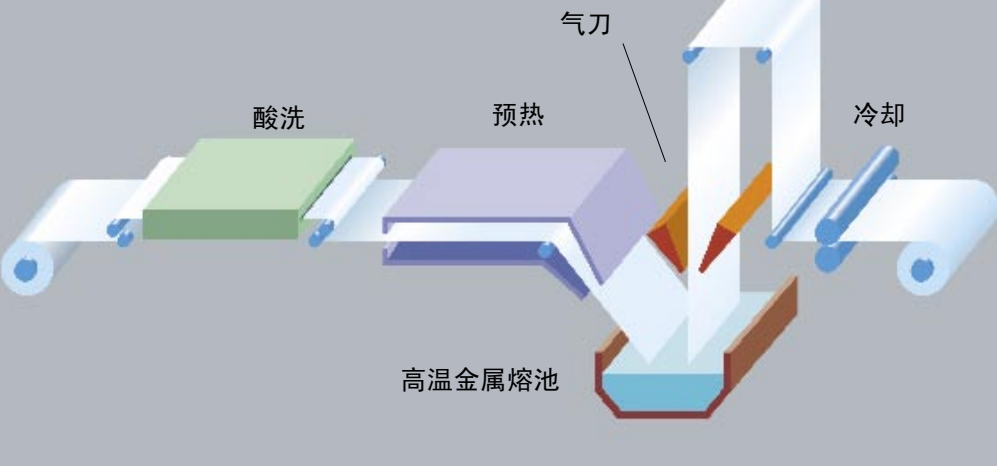


与水反应: 锌涂层褪色并受到侵蚀。1000x

解决方案: 正确镶样、用金刚砂的刚性磨盘进行精磨, 用无水型金刚砂悬浮液和润滑剂抛光并适当清洗。

镀锌涂层的生产与应用

热浸涂层的原理



热浸镀锌

钢板连续通过锌熔池时，清洁处理、温度和涂层厚度等均为自动控制。涂层中锌含量在99%以上，厚度通常在7-15微米之间，可根据不同规格而变化。应用：主要用于汽车、建筑和家居用品等领域，如洗衣机。

Galvaneal镀锌

热浸工序完成后，可对镀锌钢板进行热处理，将锌涂层转化为锌铁涂层，铁含量约为10%。与普通热浸涂层相比，这种涂层强度更高，具有更高的耐磨性和可焊性。这种涂层表面粗糙，油漆的粘附效果更好，可增强防腐性能。

应用：主要用于带有机涂层的汽车冲压零件以及内外车身镶板。



图3：冲压式汽车底板

Galvalume™¹⁾镀锌

这是一种通过熔池涂敷的热浸涂层，铝含量为55%、锌含量为43.4%，硅含量为1.6%。该涂层具有良好的抗热氧化性能。应用：建筑，主要是建筑物外表涂层，另外还可用于汽车部件。

Galfan™²⁾镀锌

这是一种通过锌熔池涂敷的热浸涂层，铝含量为5%，还含有微量稀土金属。

Galfan涂层具有精细的共晶结构（见图10），适于弯曲、深拉和焊接处理，涂漆后具有优异的耐蚀性。应用：建筑、汽车制造与家用电器行业。

1) 2) Galvalume™和Galfan™两种具有专利权的镀锌方法。Galvalume™在加拿大为Dofasco Inc的注册商标，在美国为BIEC INC的注册商标。Galfan™在美国为International Lead and Zinc Research Organization（国际铅锌研究组织）的注册商标。



图4：带有机涂层的镀铝锌钢板建筑物的外观



电镀锌

通过电镀方式附在钢板上，均匀地形成一层薄薄的纯锌涂层。涂层厚度在2-6微米之间，特别适于后续的涂漆工序使用。汽车车身是其典型应用之一。



图5：电镀锌涂层，抛光至1微米，采用纯酒精进行最终清理/抛光，1000 x

镀锌涂层制备中面临的难题



图6：后加工的镀锌涂层，采用0.5%奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液蚀刻，基体金属边缘为 γ 相，锌基体中有大 δ 柱体，200 x。

连续镀锌产品的锌涂层厚度规格通常按重量、g/m²或oz/ft²计算，根据最终产品的用途，其厚度从6微米至20微米不等。铸铁结构件等成品零件通过浸入熔锌池来完成热浸镀锌的后加工。此类涂层比连续镀锌涂层厚得多（图6）。

用于显微观察的镀锌涂层在制备时面临的难题主要有：

1. 镶样树脂与涂层钢板间的收缩间隙。这些间隙增大了试样清洗的难度，对紧固的薄板叠来说，这一问题尤其突出。

镀锌涂层镶样成为一个主要难题是因为镶样时需确保树脂与试样材料正确粘附，避免出现间隙。如果制备镀锌涂层金相用于生产控制，那么试样数量和试样可用时间就会形成一对矛盾，人们一般会采取折衷方法来解决这个矛盾。但后果通常是：采用在镀锌涂层附近形成收缩间隙的镶样方法，增大了试样清洗难度，难以做到最佳的边角保护。收缩间隙中残留的水渍和酒精渍会影响涂层厚度的正确测量以及涂层结构的正确分析。

2. 锌的柔软性以及和水的反应会产生涂层划痕、褪色、甚至蚀刻等缺陷。

涂层中锌的纯度越高，其硬度越小，水敏感性越高。因此，普通热浸涂层和电镀涂层较为柔软，易产生机械变形，不可用水清理（图7和图8）。清洁时须使用乙醇或异丙醇。由于添加了铝，热处理涂层、GalfanTM涂层、GalvalumeTM涂层和Galvaneal涂层的硬度均高于热浸涂层和电镀涂层。这些涂层在抛光过程中产生的问题一般较少，与水的反应程度也较低。



图7：用水处理后的热浸涂层，500 x



图8：用酒精处理后的热浸涂层，500 x

镀锌涂层制备的推荐方案

钢板切割难度不大，采用合适的氧化铝砂轮即可完成。有时用剪床或铁皮剪切割钢板时，虽然这些工具足以切割很薄的钢板，但可能会使钢板严重弯曲，涂层较厚时会使涂层产生裂纹。对钢板的未受损区域必须进行更长时间的后续研磨。在这种情况下，采用砂轮切割更为经济。



镶样

在镶样前用丙酮对试样进行脱脂处理，并使用合适的镶样树脂，可避免上文提及的镶样树脂与涂层试样间产生收缩间隙的问题。慢干冷镶式环氧树脂的收缩量可忽略不计，能与试样很好地粘合。强烈建议使用含有碳素纤维（Poly-Fast）的酚醛树脂进行热压镶样，因为这种方法不会在树脂与涂层间留下间隙，树脂硬度合适，可保持



试样的平整性。

两种镶样方法均可用塑料夹具垂直夹紧单个钢板试样。由于这些试样夹具只能夹紧几块钢板，对于需要进行批量生产质量控制的实验室来说效率太低。对于这些实验室而言，最常用的涂层钢板固定方法是叠板夹固法：将切割成形的板材堆垛成叠，用钢钳夹在一起。



使用这种方法，可固定大量板材，但仍不能消除板材间的缝隙。夹具中的螺钉和零件使夹具清洗和烘干较为困难，间隙中流淌出的酒精会影响

结构分析和厚度测量。用速干胶将钢板粘合在一起，然后将叠板用PolyFast热镶，此法可消除间隙，具有试样易于清洗、镶嵌合适的优点（见图9）。

制备方法

研磨

步骤	PG	FG 1
表面	#320碳化硅砂纸	MD-Largo
悬浮液		DiaPro Allegro-Largo
润滑剂		水
每分钟转数	300	150
力[牛]	每个试样30	每个试样30
时间	根据需要	4分钟

Polishing

步骤	DP 1	DP 2	OP
表面	MD-Dac	MD-Dur	OP-Chem
悬浮液	DP-悬浮液 A, 3 微米	DP-悬浮液 A, 1 微米	
润滑剂	DP-黄色	DP-黄色	乙醇*
每分钟转数	150	150	150
力[牛]	每个试样25	每个试样20	每个试样15
时间	4-6分钟	4-6分钟	15-20秒
注释	*异丙醇变性乙醇。		

研磨与抛光

通常，镀锌钢板一直使用各种粒度的碳化硅砂纸进行研磨，然后采用两步或三步式金刚砂抛光。用喷有金刚砂喷雾剂或悬浮液的专用精磨盘（MD-Largo）取代碳化硅砂纸进行精磨，可缩短精磨时间。MD-Largo还具有极佳的边角保护功能，这一优势对于在1000倍显微镜下观察的涂层尤为重要。对于后续抛光，分两步，用3微米和1微米的金刚砂抛光足以满足要求。此法可将研磨与抛光步骤从六步减少至四步。

尽管不同的镀锌涂层具有不同的硬度，但仍可以用同一种制备方法对其进行自动研磨和抛光。采用未配备自动滴液系统的研磨/抛光设备时，因金刚砂喷雾剂不含水，故研磨/抛光效果十分出色。对于自动滴液系统而言，必需使用无水金刚砂悬浮液和润滑剂，以避免涂层着色。尽管丝织品不能完全避免划痕，但可保持试样的平整性。用柔软起绒织物抛光时会使试样产生浮凸现象，应避免使用。



配备RotoSystem等自动滴液系统的自动研磨/抛光设备的优势是：能够获得可靠的、理想的且再现性好的试样。上页所示的制备方法适用于30毫米的已镶嵌单试样或试样座夹紧的多试样，并且已经在镀锌涂层和电镀锌涂层的金相制备上得到成功应用。

清洗

锌与水反应，会增大试样清洗难度。研磨过程中锌与水的反应效果可忽略不计，但是建议在各个金刚砂抛光步骤之间用异丙醇变性乙醇擦洗和漂洗，然后用清洁压缩空气吹干。最终清洗时，用蘸有异丙醇变性乙醇的MD-Chem抛光布进行片刻抛光后漂洗和干燥，可获得最佳的清洗效果。若采用自动滴液系统，可通过编程增大抛光结束后使用无水润滑剂的剂量，使后续清洗工作更加轻松。

蚀刻与分析

镀锌涂层最常用的蚀刻剂是0.5%至2%的含酒精硝酸。蚀刻时间非常短（以秒计算），很容易发生过蚀刻现象，对于过蚀刻，各种涂层有不同的反应。



图9: Galvaneal涂层，用0.5%奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液蚀刻，一级树枝状结构，500 x



图10: 涂层与图9相同，更高倍放大时，呈片状共晶结构，1000 x



图11: Galvaneal涂层，用1%奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液蚀刻， α ，1000 x

图9所示为用0.5%奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液蚀刻后的Galvan涂层。涂层呈现为一级树枝状结构。

图10与图9一样同为Galvan涂层，呈现为富锌固溶体 α 和片状共晶结构，由 α 和富铝相 β 构成。

图11所示为用1%奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液蚀刻后的Galvaneal涂层。钢基体与镀锌涂层之间出现一个富铁扩散薄层 γ 。该涂层由锌铁构成，与基体金属的间距不同，则锌铁浓度也不同。用含有苦味酸和硝酸、成分更加复杂的蚀刻剂可呈现出该结构的部分形态。（有关此类蚀刻剂的详情，详见司特尔e-Metalog）。

结语

为了使镀锌涂层的制备更加容易，再现性更高，同时改善结构分析图谱，特提出以下自动研磨与抛光的推荐方案：

-无论硬度如何不同，各类镀锌涂层均可用同一种方法实现自动制备。
-成功抛光的主要前提条件是：镶样效果好，树脂与试样间没有收缩间隙。

-用金刚砂在刚性磨盘上精磨，可得到极好的平整度。

-无水型金刚砂悬浮液和润滑剂可预防镀锌涂层着色。

-丝织物在抛光过程中可保持涂层的平整度。

-抛光过程中的所有清洗均须采用异丙醇变性乙醇。各实验室可根据待抛光涂层的种类，在推荐制备方法的基础上进一步定制研磨与抛光程序。

应用说明

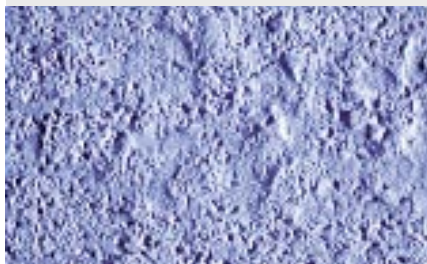
镀锌涂层的金相制备
Elisabeth Weidmann, Struers A/S,
Copenhagen

致谢辞:

特此感谢DOFASCO Inc.和加拿大汉密尔顿的STELCO Inc.、奥地利Höchst的Fa. Julius Blum GmbH、芬兰Hämeenlinna的Rautaruukki Steel慷慨提供试样材料和相关信息,感谢奥地利林茨的Voestalpine Stahl GmbH和德国杜塞尔多夫的Zinkberatung Ingenieurdienste GmbH提供的锌涂层通用信息。特此感谢德国杜塞尔多夫的Stahl-Informationszentrum允许我们复制以下图片资料:摘自Charakteristische Merkmale 095的洗衣机图片和图4。特此感谢芬兰Hämeenlinna的Rautaruukki Steel允许我们复制以下图片资料:图2和收割机图片以及第一页和最后一页上的SEM图片。

参考书目:

Charakteristische Merkmale 092, „Schmelztauchveredeltes Band und Blech“, 1998 Charakteristische Merkmale 095, „Elektrolytisch verzinktes Band und Blech“ Dokumentation 535 „Weiterverarbeitung von verzinktem und beschichtetem Stahlblech“, 1997 All: Stahl-Informationszentrum, Düsseldorf, Germany



Galvaneal 涂层表面



司特尔(上海)国际贸易有限公司
上海市南京西路580号南证大厦
2705室, 200041
电话 +86 (21) 5228 8811
传真 +86 (21) 5228 8821
struers.cn@struers.dk

Struers A/S

Pederstrupvej 84
DK-2750 Ballerup, Denmark
Phone +45 44 600 800
Fax +45 44 600 801
struers@struers.dk

CHINA

Struers (Shanghai) Ltd.
Room 2705, Nanzheng Bldg.
580 Nanjing Road (W)
CN - Shanghai 200041
Phone +86 (21) 5228 8811
Fax +86 (21) 5228 8821
struers.cn@struers.dk

DEUTSCHLAND

Struers GmbH
Karl-Arnold-Strasse 13 B
D-47877 Willich
Telefon +49(0)2154) 486-0
Telefax +49(0)2154) 486-222
verkauf.struers@struers.de

ÖSTERREICH

Struers GmbH
Zweigniederlassung Österreich
Ginzkeyplatz 10
A-5020 Salzburg
Telefon +43 662 625 711
Telefax +43 662 625 711 78
stefan.lintschinger@struers.de

SCHWEIZ

Struers GmbH
Zweigniederlassung Schweiz
Weissenbrunnenstrasse 41
CH-8903 Birmensdorf
Telefon +41 17 77 63 07
Telefax +41 17 77 63 09
rudolf.weber@struers.de

CZECH REPUBLIC

Struers GmbH
Ocelářská 799
CZ-190 00 Praha 9
Tel. +420 2 84 818 227
Fax +420 2 660 32 278
david.cernicky@struers.de

POLAND

Struers Sp. z o.o.
Oddział w Polsce
ul. Lirowa 27
PL-02-387 Warszawa
Tel. +48 22 824 52 80
Fax +48 22 882 06 43
grzegorz.uszynski@struers.de

HUNGARY

Struers GmbH
Magyarországi fióktelep
Puskás Tivadar u. 4
H-2040 Budaörs
Phone +36 (23) 428-742
Fax +36 (23) 428-741
zoltan.kiss@struers.de

FRANCE

Struers S.A.S.
370, rue du Marché Rollay
F- 94507 Champigny
sur Marne Cedex
Téléphone +33 1 5509 1430
Télécopie +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

THE NETHERLANDS

Struers GmbH Nederland
Electraweg 5
NL-3144 CB Maassluis
Tel. +31 (0) 10 599 72 09
Fax +31 (0) 10 599 72 01
glen.van.vugt@struers.de

BELGIQUE

Struers S.A.S.
370, rue du Marché Rollay
F- 94507 Champigny
sur Marne Cedex
Téléphone +33 1 5509 1430
Télécopie +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

UNITED KINGDOM

Struers Ltd.
Erskine Ferry Road,
Old Kilpatrick
Glasgow, G60 5EU
Phone +44 1389 877 222
Fax +44 1389 877 600
info@struers.co.uk

USA and CANADA

Struers Inc.
24766 Detroit Road
Westlake, OH 44145-1598
Phone +1 440 871 0071
Fax +1 440 871 8188
info@struers.com

JAPAN

Marumoto Struers K.K.
Takara 3rd Building
18-6, Higashi Ueno 1-chome
Taito-ku, Tokyo 110-0015,
Phone +81 3 5688 2914
Fax +81 3 5688 2927
struers@struers.co.jp

SINGAPORE

Struers A/S
10 Eunos Road 8,
#12-06 North Lobby
Singapore Post Centre
Singapore 408600
Phone +65 6299 2268
Fax +65 6299 2661
struers.sg@struers.dk

www.struers.com